GIS －理論と応用
Theory and Applications of GIS, 2009, Vol. 17, No.2, pp.69-75

【研究・技術ノート】

交通量配分のための入力データの作成法

島川 陽一†・鹿島　茂

A method structuring a road traffic data for traffic assignment

Yoichi SHIMAKAWA, Shigeru KASHIMA

Abstract: Although digital spatial statistics and map are becoming available recently, it is insufficient to study the configuration methods of data and parameter for a traffic assignment. In this paper, configuration methods are studied for traffic assignment using a GIS data. In detail, a method constructing road network from digital map and a set up method of a link parameter are studied. Moreover, methods speeding up assignment calculation in term of data configuration are explained. In numerical simulation, the methods are evaluated by assigning traffic in Tokyo metropolitan area and the results are shown in calculation time suitable for practical use and in assignment accuracy.

Keywords: 利用者均衡配分（user equilibrium assignment），交通需要分析（O-D matrix estimation），交通容量（traffic capacity），ゾーン（zone）

１．はじめに

今まで多くの場合，交通量配分で用いられる道路ネットワークは道路交通センサスや地勢図を参照して人手で構築されてきた．これは非常な煩雑な作業であり，ミスも混入しやすい．また，リンクに設定される交通容量やリンクパフォーマンス関数のパラメータは配分計算実施者の経験と知識からリンクごとにカスタマイズされる．このため専門家以外が精度良く配分計算を行うことはほとんど不可能である．しかし，近年は地理情報システム（以下 GIS）の発展によりデジタル道路地図も整備され，これらを利用したデータの構築が可能になっている．この構築方法やその課題を整理しておくことは，今後専門家以外の人が交通量配分を行うために重要である．

交通量配分の精度を下げる要因を図１に整理する．これらの誤差のうち図中（1）で示されている道路交通統計のデータ精度の問題は今まであまり認識されていない．これは OD 交通量の集計ゾーンの分析レベルに応じて配分実施者が道路ネットワークを経験的に構成していたためである．

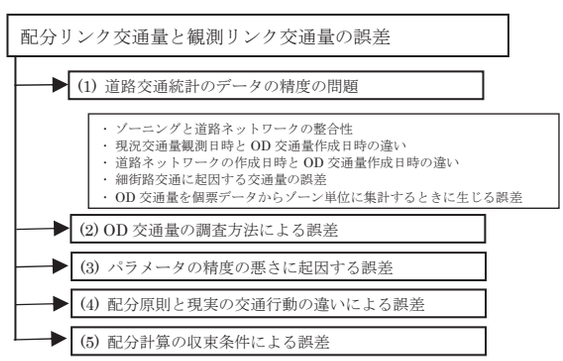

図１　配分計算の精度低下の原因

†島川：サレジオ工業高等専門学校　情報工学科
〒 194-0215 東京都町田市小山ヶ丘 4-6-8
Salesian Polytechnic
Department of Computer Science & Technology
4-6-8 Oyamagaoka Machida-shi Tokyo, 194-0215.
Tel：042-775-3020　Fax：042-775-3021
E-mail：simakawa@salesio-sp.ac.jp

本稿では交通量配分に利用するためにデジタル道路地図から道路ネットワークを構成し，各道路リンクのパラメータを簡易に設定する一例を示す．道路ネットワークの構成方法では計算を高速化させる工夫も示す．実際にPT調査によるOD交通量を配分して現況交通量と比較し，配分誤差を検討する．

２．起終点交通量と道路ネットワークの構成方法

２．１．OD交通量と観測断面交通量データの設定

ODは起点(Origin)と終点(Destination)を意味し，OD交通量とは，ある出発地（起点）から目的地（終点）への向かう起終点間の交通量である．既存の交通量配分計算では，対象地域をゾーンに分割し，個々のトリップをそのゾーン単位に集計してOD交通量として与えている．

平成10年東京都市圏PT調査データからOD交通量を設定する．PT調査は都市計画区域レベルの都市交通マスタープランの策定を目的として，都市圏内の人の交通を総合的に把握するために都市の規模に応じて実施される．都市の将来像，将来交通計画から構成される都市交通マスタープラン，将来交通量予測結果（OD表，配分結果）と都市交通実態調査によって得られる都市交通現況データベースを提供する．このデータベースは都市圏居住者を対象とした人ベースの交通量調査（人トリップ）である．本稿では交通量配分は車両単位で行うため，台トリップ単位になおした自動車OD表(以下VTOD表)を使用する．ODは調査対象地域内を計画基本ゾーンと呼ばれる595のゾーンに区分されている．

東京都市圏PT調査データブラウザシステム取扱説明書にゾーンコード表が掲載されている（東京都市圏交通計画協議会，2002）．この取扱説明書は紙媒体なので，ゾーンコード表を手入力でデジタル化する．そのゾーンコード表にある各ゾーンの該当町丁・字名を抜き出して，アドレスマッチング（東京大学空間情報科学センター，2001）によりゾーン代表点の座標を求める．

平成11年道路交通センサスの一般交通量調査箇所別基本表をもとに断面交通量観測地点を設定する．配分するOD交通量は平日のデータなので平日24時間自動車類交通量の合計値と比較する．

道路交通センサスの箇所別基本表では交通量観測地点は住所で与えられている．これもアドレスマッチングにより座標値に変換し，この座標値を中心に少しずつ範囲を広げて道路リンクを検索して観測断面候補リンクを特定する．交通量配分計算を行い，各リンクの配分交通量と現況リンク交通量とを比較して一番近いリンクを観測断面地点とする．このようにして得られたリンク断面と道路交通センサスの交通流量図の観測地点を比較したところ概ね観測地点は一致していた．使用した20万分1相当のデジタルマップでは1kmの検索でリンクを特定できることもわかった．東京23区内ではこの範囲の探索でおおよそ12リンクが候補となる．道路密度の高い東京都区内や交差点部分で誤った場所を示す場合には道路交通センサスの交通流量図をもとにGISを用いて観測地点を手作業にて修正する．

２．２．道路ネットワークの構成法

交差点をノード，ノード間を結ぶ道路単路部をリンクとする．以下で利用する利用者均衡配分では方向別に交通量とリンク走行時間が計算されるため，リンクは上下線を分離して有向グラフで扱う．

前節で与えたゾーン代表点を交通の起終点であるセントロイドとする．各セントロイドは道路ネットワーク上の一番近いノードにアクセスリンクで接続する．本稿で扱う車両はすべてこのセントロイドを出発しアクセスリンクを通って道路ネットワークに入る．目的セントロイドの近くのノードまで有向グラフの向きにしたがってリンクを辿って行きアクセスリンクを通って目的セントロイドに到着する．デジタル地図の道路中心線を利用して道路ネットワークを構成する手順をリスト1に示す．

Step1ではデジタル地図データから道路中心線を抽出する．デジタル地図の道路リンクは交差点や次数1のノードとそれらノード間を補間する次数2のノードで記述されている．この次数2のノードは道路曲線部の形状を表現する補間点として使用されているので配分計算において計算時間を増大させる原因になる．このため，道路ネットワークには次数2

を含まないよう構成する．

Step1　デジタル地図から道路中心線を抽出
　　次数 2 のノードの削除
Step2　対象地域が複数図郭の場合は境界ノードを接続
Step3　ノード番号の設定
Step4　有向グラフ化
Step5　孤立したサブネットワークの削除
Step6　リンクのソート
Step7　リンク情報とノード座標データの出力

リスト 1　道路ネットワークを構成する手順

Step2，3 では図郭境界部分のノードを接続し，不要ノードを除去して，構成する道路ネットワーク全体で一意になるようにノードに番号を振る．Step4 では交通規制にあわせて有向グラフとしてリンクを設定する．

取り出した道路ネットワークには孤立したサブネットワークが含まれていることがある．サブネットワークにセントロイドが接続されると OD 間の経路を決定することができず，リンクに正しく交通量を割り当てられない．したがって，Step5 では孤立したサブネットワークを除去する．本稿では各ノードにおいてリンクを辿って接続しているノード数を計算し，接続しているノード数が全ノード数の 10％以下のノードを開放除去することでサブネットワークを除去した．

後述する計算時間の短縮のため，データを前処理して記録する．リンクデータはリンクの始点ノード番号を第 1 キー，終点ノード番号を第 2 キーとしてソートしファイルへ格納する．また，作成した OD 交通量データも起点と終点のノード番号をそれぞれ第 1，第 2 キーとしてソートしておく．

2．3．リンクパラメータの設定方法と前処理

2．3．1．各リンクの交通容量と車線数の設定

デジタル地図はその用途と縮尺によって保持している道路の精度や属性が違っている．一般的に大縮尺の地図には細街路も含まれるが，小縮尺の地図には主要幹線道路しか含まれない．配分計算に使用する道路ネットワークは分析目的や使用する OD 交通量のゾーンの集計レベルに適合している必要がある．

各リンクの交通容量は車線数と道路規格を用いて決定する．道路の種類は道路構造令（交通工学研究会（編），2006）によると第 1 種（地方部の高速自動車国道および自動車専用道路），第 2 種（都市部の高速自動車国道および自動車専用道路），第 3 種（地方部の一般道路），第 4 種（都市部の一般道路）に区分される．そこで各道路の単車線の交通容量は道路構造令の値を用いて，各リンクの方向別車線数を乗じた値をリンクの交通容量とする．各道路リンクの 1 車線あたりの交通容量を表 1 に示す．

一般的には沿道状況等も交通容量に考慮されるべきであるが，使用する地図データにその属性情報がないことも考えられるためここでは考慮しない．セントロイドと接続するアクセスリンクのコストは 0 とする．

表 1　交通容量の設定

道路種別	級種別	交通容量(台/日)
高速道・都市高速道	1 種 1-2 級	12,000
一般国道	2 種 1-2 級	18,000
主要地方道	4 種 1 級	12,000
一般都道府県道	4 種 2 級	10,000
その他の道路	4 種 3 級	10,000

利用者均衡配分計算に用いるリンクパフォーマンス関数には様々な関数が提案されているが代表的な関数は BPR 関数と Davidson 関数である．BPR 関数は米国道路局が提案した関数（Bureau of Public Roads，1964）で研究や実務で古くから用いられている．本稿ではこの BPR 関数を用いる．すなわち，リンク k の交通量が x_k のときの所要時間 $t_k(x_k)$ は交通量と交通容量の関係から以下のように定義する．

$$t_k(x_k)=t_{k0}\left(1+\alpha\left(\frac{x_k}{C_k}\right)^{\beta}\right)$$

t_{k0} は自由走行で通過するときの平均所要時間，C_k はリンク k の交通容量，α，β はパラメータである．

t_{k0} はリンクの特性（交通規制や中央分離帯，車線数の有無）で決定される変数である．本稿における実験ではすべての道路リンクにおいて，土木学会が全道路種類別共通の標準パラメータとして提案している $t_{k0}=0.74$, $\alpha=0.48$, $\beta=2.89$ を使用する（松井・山田，1998；土木学会(編)(p.73)，2003）．

有料道路は道路料金を時間評価値（単位時間当たりの貨幣換算値）により時間に換算した上でリンク旅行時間に加算することにより取り扱う．PT 調査の OD 交通量は車種別になっていないので，全車種共通の料金を仮定し，その料金を時間価値で走行時間に換算する．本稿では，車種別の時間評価値ではなく全車種共通の時間評価値 62.86（円/分/台）（平成 15 年価格）を一般道路と有料道路を結ぶオン・ランプリンクまたはオフ・ランプリンクに有料道路の料金分負荷する（土木学会(編)(p.84)，1998）．また，高速自動車国道などの距離に比例して料金が加算される場合は料金体系をもとに個々のケースに応じて距離に比例した時間評価値を負荷する．

2．3．2．効率的計算のための前処理

利用者均衡状態のリンク別交通量を直接的に求めることは難しいので通常は数学的に等価な最適化問題におきかえて，これを解くことにより求める．本稿ではこの最適化問題の求解に Frank-Wolfe 法を用いる． この方法は最急降下方向に解を探索する方法で利用者均衡配分を解くために多く用いられている．一番計算コストが大きいのは OD ごとに最短経路を探索し，最短経路上の各リンクに OD 交通量を負荷する処理である．この処理では OD ペア分の最短経路の計算が必要になる．そこで，配分計算の前処理として OD 交通量のデータをソートしておく．最短経路を計算するダイクストラ法は道路ネットワーク上の任意のノードから他のすべてのノードへの最短経路とその距離を求めるので，OD の計算順序を起点でソートしておけばダイクストラ法の実行は起点の個数だけですむ．この処理を図 2 に示す．これによりダイクストラ法の実行回数を必要最小限に抑えることができる．

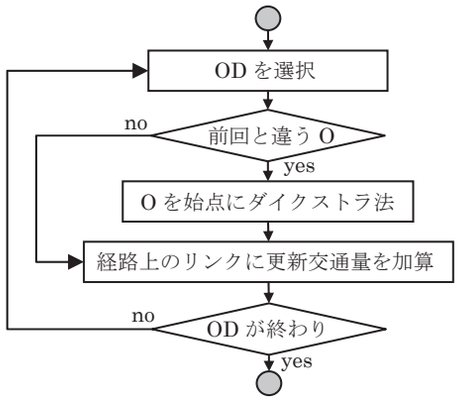

図 2　ダイクストラ法の実行回数の抑制

次にリンク交通量の更新部分で計算の効率化を行う．図 3 左上に示すように，ダイクストラ法の計算結果の経路は起点から各ノードへ木構造で与えられる．このとき，経路はノードに接続している親ノードをたどる形で与えられるため，OD 間経路上の各道路リンクに交通量を加算する処理では始点と終点のノードからリンクを検索しなければならない．リンク数が大きい場合この検索には大きな計算時間が必要になる．そこでこの検索を効率化するためリンクデータは各リンクの両端点でソートした形でデータを保持し，検索には二分探索を使用する．

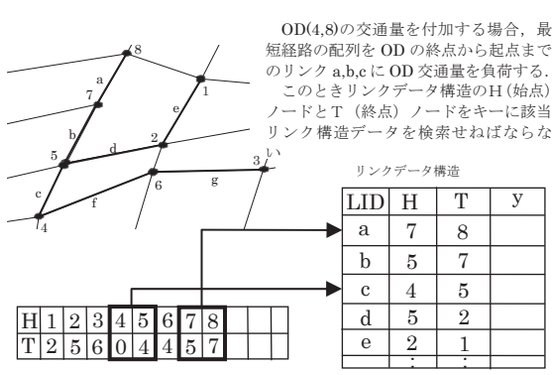
OD(4,8)の交通量を付加する場合，最短経路の配列を OD の終点から起点までのリンク a,b,c に OD 交通量を負荷する．
このときリンクデータ構造のH（始点）ノードとT（終点）ノードをキーに該当リンク構造データを検索せねばならない
リンクデータ構造
LID H T y
a 7 8
b 5 7
c 4 5
d 5 2
e 2 1
H 1 2 3 4 5 6 7 8
T 2 5 6 0 4 4 5 7

図 3　リンク交通量更新部分での効率化

３．経路別配分交通量の評価

対象地域と使用データの概要を表２にまとめる．この計算ではデジタル道路地図にJMCマップを用いる．JMCマップは国土地理院の国土数値情報を基に作成された20万分の１相当のベクトル形式の地図データである．データは１次メッシュ単位にファイルにまとめられている．道路リンクの属性データは道路種別のみで高速道路･自動車専用道路，一般国道，主要地方道，一般都道府県道，その他道路に分類されている．

一般的には交通量配分計算には日本デジタル道路地図協会が提供するDRMが主に用いられる．全国の道路管理者により提供される道路データを基にデータを作成しているためネットワークが精緻なだけでなく属性データも多い．しかし，本稿では専門家以外の人が安価で配分計算を実施できることを考慮して，JMCマップを用いることとした．

表２　本稿における道路交通データの概要

OD交通量	平成10年東京都市圏PT調査 H10 S2-15VTOD表
メッシュ番号	5239,5240,5339,5340,5439,5440
対象地域の面積	160km×240km
ゾーン数	595
ネットワーク	JMCマップ（日本地図センター） 実ノード数　　:25,092 実リンク数　　:74,220 実リンク延長　　:58,674 km 単位面積あたりリンク延長：1.5 km/km^2
観測断面	道路交通センサス（平成11年全国道路交通情勢調査） 首都圏1224地点
時間評価値	62.86円/台/分

３．１．計算所要時間の比較

前章で提案した前処理による①ダイクストラ法の実行回数の抑制と②リンク交通量更新部分での効率化が配分計算の実行時間にどの程度影響を与えるかについて数値実験を行い調査する．ダイクストラ法はFヒープ付のプログラムを使用している．使用した計算機はIntel(R) Core(TM)2 Duo CPU T8100 2.10GHz，メモリ2GB，HDD空き容量50GBである．配分計算プログラムの並列化は行っていない．結果を表３に示す．収束に要した計算回数はいずれも20回であるが，計算時間は大きく違っている．収束条件はすべてのリンクにおいて更新される交通量が10%以内としている．計算上の工夫を行わない場合の計算時間に対して①は2.23倍，②は1.8倍の高速化が実現できた．①と②を同時に行った場合の計算時間は150倍となり，実行時間は約２分となった．

表３　データの前処理による効率化

効率化の方法	計算時間(sec)	評価
効率化の工夫なし	18094.73	——
①D法の実行回数抑制	8105.34	2.23倍
②2分探索の採用	10052.57	1.8倍
①+②	119.92	150.8倍

３．２．交通状況の再現性による評価

交通センサス調査箇所別基本表の各観測地点の観測24時間交通量と配分交通量との比較を行う．

評価対象地域は東京都内と横浜市，川崎市，神奈川県内とする．対象地域を限定したのは計算対象地域の境界部分やアクセスリンクの接続により明らかに特異な値が出力されるODを除くためである．

リンク別断面交通量の評価指標として以下に示すRMS誤差を計算する．

$$\text{RMS link error} = \frac{1}{N}\sum_{l\in E_r}\frac{\sqrt{(x_h^l - x_r^l)^2}}{x_r^l}$$

ここでx_h^lはリンクl配分交通量，x_h^lは交通センサス一般交通量調査による観測断面交通量，E_rは観測実施リンクの集合を表す．

リンク別断面交通量の比較を図４に示す．配分交通量が現況交通量を再現できれば$y=x$の線に分布が近くなるが，計算結果は分散が大きい．これは構成した道路ネットワークに幹線道路以外の道路が多く含まれるので，それらの道路に多く配分されたためと推測される．そこで同一の大ゾーンに含まれるすべてのリンク交通量の総和をその大ゾーンのリンク数で割ることにより大ゾーンでの平均断面交通量をもとめる．図５に評価対象地域の27の大ゾーン

における平均断面交通量を示す．過小推計されているが分散は小さくなり交通量の再現性は認められる．配分された交通量は観測地点を通過していないが，同一ゾーンを通過していると考えられる．経路選択はリンクレベルで現況と違っていても，OD の単位で見た場合，おおよその通過地域は同じになる．

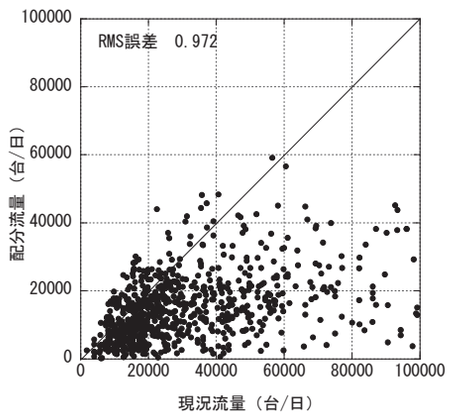

図４　リンク別断面交通量の比較

大ゾーン別の比較では配分された交通量は実績値と比較して過小推計されている．この傾向の原因は，同じゾーンを起終点にもつゾーン内々交通量が配分されないためと PT 調査の OD 交通量に傾向誤差が含まれるため（名取ら，2000）と考えられる．

リンク別断面交通量の誤差の原因は以下が考えられる．本稿の BPR 関数の設定パラメータはすべてのリンクで同じ値を用いている．また，交通容量が道路種別と車線数のみで設定されているため個々の道路リンクの実情を反映していない．この計算では幹線道路とそれ以外の道路で区別していないので幹線道路以外の道路で交通量が大きいと考えられる．

図 6 に現況と配分による OD 間所要時間の比較を与える．現況所要時間は PT 調査の各計画基本ゾーンの自動車による平均所要時間（H10 S2-17）を大ゾーンでまとめなおした値である．この結果にも偏りが見られる．図より平均所要時間がおおよそ現況の半分であることがわかる．BPR 関数のパラメータを適正に設定すれば精度はあがるものと考えられる．

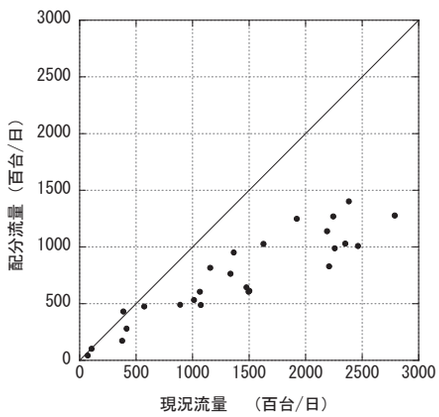

図５　大ゾーン別断面交通量の比較

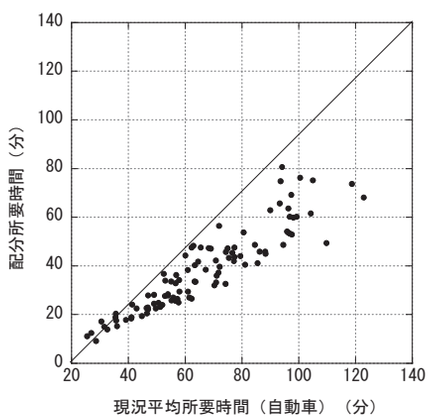

図６　大ゾーン別 OD 間所要時間の評価

４．まとめ

本稿では交通量配分のための道路ネットワークの構成法，リンクパラメータの設定の一例と高速化のための前処理と計算手順の工夫を示した．ここでは実務において行われている方法を整理したに過ぎないが，配分計算の専門家以外の人に交通量配分の一例と問題点を示したことには意義があると考えている．

道路種別の基本交通容量と車線数とから交通容量の設定を行った．実務では交通容量は交通センサスや地勢図を用いて沿道状況をリンク毎に判断し，基準交通容量の値を補正して推定している．これは非常に煩雑な作業であるため，鷹尾ら（2007）は DRM を利用して沿道状況を判別する自動判別法を提案している．本稿で示した設定法では交通容量の

誤差による配分誤差は大きかったので，この方法を参考に設定方法の検討をしたい．

小縮尺の地図を使用する場合，配分対象の道路ネットワークは主要道路で記述された簡略ネットワークであり，現実の道路ネットワークとは異なる．その交通容量は細街路を含めた地域の道路網全体の交通容量であり，実際の道路リンクの車線数と道路規格を用いて決定される容量とは違うと考えられる．この交通容量を推定する問題は今後の課題となろう．

本稿で行った交通量配分計算では，道路ネットワークに細街路を考慮していないため，本来細街路を利用する交通が幹線道路に配分される．このため配分結果が実測値より大きくなると考えられる．しかし，実際の計算結果はその逆となった．これは配分に使用したOD交通量に含まれる傾向誤差の方が大きく影響したためと考えられる．PT調査はアクティビティダイアリ調査と比較すると，特定の傾向を持ったトリップに抜け落ちが発生しやすく，1人あたりの総トリップに対して20％～30％の抜け落ちがある（名取ら，2000；中村ら，1997）．この影響を取り除く方法については小規模ネットワークではあるが島川（2006）により検討されている．実用規模の計算での検討は今後の課題である．

参考文献

島川陽一・鹿島茂（2006）傾向誤差を含むOD交通量修正の計算方法の検討，「交通工学研究会発表論文報告集」，**26**，229-232.

鷹尾和亨・東徹（2007）デジタル道路地図のリンクの沿道状況の自動判別．「土木計画学研究・講演集」，**36**.

東京大学空間情報科学研究センター（2001）CSVアドレスマッチングサービス，< http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/　sagara/geocode/overview.html>.

東京都市圏交通計画協議会（2002）『東京都市圏PT調査データブラウザシステム－現況版－取扱説明書』．東京都市圏交通計画協議会.

土木学会（編）（2003）『道路交通需要予測の理論と適用－第Ⅰ編　利用者均衡配分の適用に向けて』．丸善.

土木学会（編）（1998）『交通ネットワークの均衡分析－最新の理論と解法－』．丸善.

交通工学研究会（編）（2006）『交通容量データブック2006』．丸善株式会社.

中村文彦・内田敦子・大蔵泉（1997）アクティビティダイアリ調査を用いた郊外部の週末行動分析の一考察．「第17回交通工学研究会発表論文報告集」，213-216.

名取義和・谷下雅義・鹿島茂（2000）パーソントリップ調査における回答誤差とその発生要因．「土木計画学研究・論文集」，**17**，155-162.

松井寛・山田周治（1998）道路交通センサスデータに基づくBPR関数の設定．「交通工学」，**33**（6），9-16.

Bureau of Public Roads（1964）Traffic Assignment Manual, U.S. Department of Commerce, Urban Planning Division, Washington D.C..

（2009年5月18日原稿受理，2009年11月6日採用決定，2009年12月10日デジタルライブラリ掲載）